

Japanese Patent Application Laid-open No. H11-8194

[Title of the Invention]

A Measuring Method of Exposure Conditions,
5 An Evaluating Method of a Projection Optical System, and
A Lithographic System

[Abstract]

[Object] To measure the imaging characteristics of the
10 projection optical system (such as best focus) with high
accuracy and high repeatability.

[Configuration] The projection exposure apparatus
disclosed has a stage ST on which a wafer W is mounted,
15 and a focus detection system to detect the height of the
wafer W. A test pattern is transferred by exposure to
the wafer W by varying the focus and the dose to produce
shot matrices under various exposure conditions.
Exposure is performed until overexposure is reached
20 whereon the test pattern has disappeared by development.
An alignment sensor 11 determines whether the resist
image of the test pattern remains after development. The
disappearing dose at which the photoresist pattern
disappears first is obtained in each focusing position.
25 The focusing position at which the disappearing dose is
greatest is determined as the best focusing position.

What is Claimed is:

[Claim 1] A measuring method of exposure conditions for a substrate in which an exposure apparatus is used that transfers a mask pattern with a predetermined energy

5 amount onto said substrate whose surface is coated with a resist layer and is arranged on a predetermined exposure reference surface wherein

in said exposure conditions measuring method, spacing between said exposure reference surface and said
10 substrate is changed in each of a plurality of different segment areas on said substrate, and also in each of said plurality of segment areas, said pattern is exposed while changing an exposure energy until a resist image of said pattern disappears due to development.

15 **[Claim 2]** The method of Claim 2 wherein said exposure energy that has been changed is sequentially stored in memory.

[Claim 3] The method of one of Claims 1 and 2 wherein a disappearing exposure energy where said resist image
20 disappears is obtained based on an availability of said resist image after development.

[Claim 4] The method of Claim 3 wherein said disappearing exposure energy is obtained for each position in a spacing direction of said exposure
25 reference surface and said substrate.

[Claim 5] The method of Claim 3 wherein a value corresponding to contrast of said resist image is obtained based on said disappearing exposure energy.

【Claim 6】 The method of Claim 5 wherein a value corresponding to said contrast is obtained by standardizing said disappearing exposure energy with a predetermined reference exposure energy.

5 【Claim 7】 The method of one of Claims 5 and 6 wherein a best imaging plane of said exposure apparatus is obtained based on said contrast.

 【Claim 8】 The method of Claim 1 wherein said resist image is detected by a detection unit provided in said
10 exposure apparatus.

 【Claim 9】 The method of Claim 8 wherein whether said resist image has disappeared is decided based on detection results of said detection unit.

 【Claim 10】 An evaluating method of a projection optical
15 system of an exposure apparatus using said exposure apparatus that transfers a mask pattern with a predetermined energy amount onto a substrate whose surface is coated with a resist layer and is arranged on a predetermined exposure reference surface wherein

20 in said projection optical system evaluating method, spacing between said exposure reference surface and said substrate is changed in each of a plurality of different segment areas on said substrate, and also in each of said plurality of segment areas, said pattern is exposed while
25 changing an exposure energy until a resist image of said pattern disappears due to development, and based on said exposure energy at which said resist image disappears said projection optical system is evaluated.

【Claim 11】 A lithographic system in which a projection optical system of an exposure apparatus is evaluated using said exposure apparatus that transfers a mask pattern with a predetermined energy amount onto a

5 substrate whose surface is coated with a resist layer arranged on a predetermined exposure reference surface and also detects said mask pattern formed on said resist after development, said lithographic system comprising:

a substrate stage on which said substrate is mounted,
10 said stage adjusting a positional relation of said projection optical system and said substrate in a direction in which they are spaced and moving said substrate two dimensionally;

a control system that controls a position of said
15 substrate stage so that a predetermined pattern is exposed on each of a plurality of different segment areas of said substrate while changing a spacing between said exposure reference surface and said substrate, and changes an exposure energy in each of said plurality of
20 segment areas until a resist image of said predetermined pattern disappears due to development; and

a detection system that detects said resist image in said plurality of segment areas, whereby

a disappearing energy at which said resist image
25 disappears is detected for each of said segment areas based on detection results of said detection system, and an imaging characteristic of said projection optical system is calculated based on said disappearing energy.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

[0001]

[Technical Field to Which The Invention Pertains]

5 The present invention is generally related to a method of measuring exposure conditions and a method of evaluating projection optical systems, and, more particularly, to a method of measuring exposure conditions using a projection exposure apparatus for manufacturing

10 semiconductor integrated circuits, liquid crystal substrates, thin-film magnetic heads and so on, to a method of evaluating projection optical system used in projection exposure apparatus, and to a photolithography system.

15

[0002]

[Prior Art]

In recent years, with the increasing demand for semiconductor integrated circuits with ever higher

20 integration levels, ever higher resolutions are required of projection exposure apparatus used to manufacture semiconductor integrated circuits. A key to achieving a higher resolution for such projection exposure apparatus is to enhance the imaging qualities of the projection

25 optical system used in the projection exposure apparatus. To that end, the imaging qualities of the projection optical system need to be accurately measured and evaluated.

[0003] Among the means to evaluate the imaging qualities of the projection optical system used in the above-mentioned projection exposure apparatus, the imaging surface was measured, for example, by a method of (1) exposing a predetermined reticle pattern on the wafer while changing the focus, and the dimensions of the reticle pattern formed in the photoresist on the wafer are measured with a scanning electron microscope. Then, the measuring data thus obtained is plotted against the focus used in the exposure process, the maximum portion or the minimum portion of the curve obtained by fitting sliced according to a predetermined threshold value, and then the best focus could be obtained from its midpoint.

15

[0004] In addition, an alternative method has been proposed in which (2) a reticle pattern in the form of a wedge is transferred onto the wafer, and the line width in the direction of the longitudinal diagonal line of the transferred wedge-shaped reticle pattern is measured with an alignment sensor provided in the exposure apparatus, finding the best focusing position in the same manner as stated in the method (1) above. In this method, the change in line width in the direction of the sidewise diagonal line of the photoresist pattern caused by defocusing is replaced by the change in line width in the direction of the longitudinal diagonal line to enhance the measuring accuracy (Japanese Patent Application Laid-

25

open No. H2-30112).

[0004] Other methods proposed include methods in which the center of the focusing range where the image of the subject reticle pattern is resolved serves as the best focus, or a best focus defining method in which the focusing position whereby the image of the smallest pattern is resolved is defined as the best focus position.

10 [0005]

[Problems to Be Solved by the Invention]

Although the inventor of the present invention analyzed that there are close relations between the shapes of the patterns and the measurements obtained in such measuring methods, in the conventional measuring methods where only the bottom part of the image formed in the photoresist is measured, the data obtained is only one-dimensional data such as line width, therefore, the shape of the reticle pattern had to be estimated, which lowered the measuring accuracy.

[0006] In addition, as measuring objects grow smaller than ever, the measuring accuracy and repeatability decrease, which makes it necessary to change/set the measuring conditions including the photoresist and data processing conditions each time they decrease. Also, although the shape of the pattern is taken into consideration by measuring the top of the pattern as well

as the bottom, the measurement data then comprises the measuring errors in the measurements of both top and bottom dimensions of the pattern, resulting in a poorer repeatability than when only the bottom dimensions are
5 measured, in addition to a longer measuring time.

[0007] Another disadvantage of the above evaluation technology is that a scanning electron microscope, which is an expensive tool, should preferably be used, which
10 makes the overall cost relatively high. Furthermore, the method that uses a wedge-shaped reticle pattern can only be applied when the subject pattern is a reference pattern. Additionally, since the length of the photoresist pattern is measured in place of its width,
15 the fine line widths of the pattern are not directly evaluated, and because the effect of the aberration on the imaging surface of the projection optical system differs between length and width, the best focus determined by this method does not necessarily hold true
20 for both line and width.

[0008] Another drawback of the method whereby the center of the focusing range where the image of the subject pattern is resolved is determined as the best focus is
25 that the continuity of the data is lost, which makes the measurement data contain half of the focus step as a measuring error, making this method inadequate for detailed measuring. Furthermore, because the method

whereby the focusing position in which the image of the smallest pattern is resolved is determined as the best focus shares the same problem as the method whereby the center of the focusing range where the image of the subject pattern is resolved is determined as the best focus, the pattern size information of the subject pattern consequently contains pattern size information that has different aberration effects on the imaging surface other than that of the subject pattern, which means that the imaging surface may not purely be an imaging surface of the subject pattern.

[0009] In view of the above drawbacks of such conventional methods, the present invention has as one of its objects to measure the imaging characteristics (best focus, curvature of field, etc.) of the projection optical system with high accuracy and high repeatability. Another object of the present invention is to make the imaging characteristics of the projection optical system measurable for any patterns subject to measurement, with high accuracy and high repeatability. It is also an object of the present invention to quantitatively evaluate the shape of any patterns with high accuracy and high repeatability within a short period of time, and to measure the best focus based on such evaluation.

[0010]

[Means to Solve the Problems] The present invention

proposes to solve the above problems as follows.

According to one aspect of the present invention, in the method of measuring the photoresist exposure conditions using an exposure apparatus whereby the substrate coated
5 with a photoresist layer is placed on a predetermined reference exposure surface and a mask pattern is transferred to the substrate by exposure process using a given quantity of energy, the distance between the reference exposure surface and the substrate is varied
10 among a plurality of different segments on the substrate, and the exposure energy is changed to a quantity of energy at which the resist image of a predetermined pattern has been removed by the development process in each of the plurality of segments on the substrate.

15

[0011] According to another aspect of the present invention, in the method of evaluating the projection optical system of an exposure apparatus, using said exposure apparatus whereby the substrate coated with a
20 photoresist layer is placed on a predetermined reference exposure surface and the mask pattern is transferred to the substrate by exposure process using a given quantity of energy, the distance between the reference exposure surface and the substrate is varied among a plurality of
25 different segments on the substrate, and the exposure energy is changed until a quantity of energy is reached at which the resist image of a predetermined pattern has been removed by the development process in each of said

segments on the substrate, thereby to evaluate the projection optical system based on the energy at which the resist image has been removed.

5 [0012] According to yet another aspect of the present invention, in the photolithography system for evaluating the projection optical system of an exposure apparatus, using said exposure apparatus whereby the substrate coated with a photoresist layer is placed on a
10 predetermined reference exposure surface, the mask pattern is transferred to the substrate by exposure process and said mask pattern formed on the photoresist is detected after the development process. Said photolithography system comprises a substrate stage on
15 which a substrate is placed and which adjusts the relative position of the projection optical system and the substrate in the direction of the distance therebetween, and moves the substrate two-dimensionally; a control system that controls the position of the
20 substrate stage such that a predetermined pattern is transformed to the substrate by exposure by adjusting the distance between the reference exposure surface and the substrate in each of a plurality of different segments on the substrate and changes the exposure energy up to a
25 quantity of energy at which the resist image of a predetermined pattern has been removed in the development process; and the detection system to detect the resist image in each of said plurality of segments on the

substrate.

[0012] Said exposure energy at which said resist image has been removed is detected for each of said plurality of segments based on the detection results given by said detection system. The imaging characteristics of said projection optical system are calculated based on said exposure energy at which said resist image has been removed.

10

[0013]

[Preferred Embodiment of the Invention] The present invention will be described in detail, referring to the drawings. Fig. 1 schematically illustrates the configuration of a stepper comprising a focusing function related to a first embodiment of the present invention. As is shown in Fig. 1, an exposure light (g-line or i-line) emitted from an exposure light source 1 such as, for example, a high-pressure mercury lamp, is converged by an ellipse mirror 2, passes a shutter 3 for dose control to illuminate a reticle R, via an optical integrator 4 comprising a fly eye lens, a reticle blind 20 for setting the illumination area of a reticle R, and a main condenser lens CL. These components from exposure light source 1 through main condenser lens CL constitute an illumination system for exposure whereby the total dose on wafer W can be controlled by controlling the opening time of shutter 3 with a shutter controller 6,

provided that the emission intensity of exposure light source 1 is substantially constant.

[0014] Reticle R is held on a reticle stage RS that
5 performs fine movement two-dimensionally (in an x, y, and rotational directions), after it is aligned thereon by a reticle alignment system 5. The various patterns formed on a pattern area of reticle R are projected on wafer W by a double telecentric projection optical system PL. A
10 wafer stage ST on which wafer W is mounted steps by a constant amount in the x and y directions so that the various patterns formed in the pattern area of reticle R is sequentially transferred onto each shot area on wafer W by projection exposure. Wafer stage ST is controlled by
15 a stage controller 7 that has a driving motor and a laser interferometer for measuring the coordinates of stage ST.

[0015] In the apparatus illustrated in Fig. 1, a wafer alignment system is provided for detecting various
20 alignment marks on wafer W. As illustrated in Fig. 1, the laser beam such as, for example, He-Ne laser and an Ar ion laser, generated by a laser beam source 11a, passes a lens system 11b comprising a cylindrical lens, a beam splitter 11c, and an objective lens 10 before being bent
25 by a mirror. It then perpendicularly irradiates wafer W via projection optical system PL. Lens system 11b acts on the laser beam so that it becomes a slit-shaped spot beam on wafer W, extending in one direction.

[0016] The returning beam from wafer W (wafer alignment marks on wafer W) reverses its course via projection optical system PL and objective lens 10, and is reflected by beam splitter 11c. The beam then passes a pupil relay system 11d and a spatial filter 11e to be received by a photoelectric device 11f. Of the returning beam from wafer W, spatial filter 11e, which is arranged substantially in a conjugate relation with the pupil of projection optical system PL, shields the regular reflection beam and allows only the diffraction light and the scattered light to pass.

[0017] The photoelectric signal produced from photoelectric device 11f is applied to a signal processing system 12 where the position of the mark (pattern) is detected based on a waveform that corresponds to the profile of the mark. At the same time, signal processing system 12 samples the photoelectric signal from photoelectric device 11f using a position measuring pulse supplied from the laser interferometer in stage controller 7. The photoresist pattern formed on wafer W is automatically measured using a wafer alignment system 11 and signal processing system 12 as will be described later in detail.

[0018] The exposure apparatus illustrated in Fig. 1 has a focus detection system for adjusting the relative

position of the best focusing surface of projection optical system PL and the photoresist surface of wafer W in the direction of the optical axis. The focus detection system provided in the embodiment illustrated in Fig. 1 is an oblique incident light type (AF sensor) focus detection system in which the light from a light source 14 that is nonphotosensitive to the photoresist layer is made into an imaging beam by projection optical system 15 and is obliquely projected on wafer W. The light reflected off wafer W is received by a photoelectric detection unit 18, via a photodetection optical system 16 and a slit 17.

[0019] In the AF sensor, when the best focusing surface of projection optical system PL coincides with the surface of wafer W, detection unit 18 outputs a signal that indicates that focusing is achieved. When the wafer surface is out of alignment with the best focusing surface in the vertical (optical axis) direction, detection unit 18 outputs a signal that indicates the amount by which both surfaces disagree. A focus control unit 9 (hereinafter referred to as "AF unit") processes the signal (referred to as "AF signal") that indicates either the state of focusing or the amount by which both surfaces disagree.

[0020] Wafer stage ST comprises a Z stage that finely moves wafer W in the optical axis direction, and a θ

stage that finely rotates wafer W in an x-y plane. The automatic focusing is performed, by driving Z stage under the control of stage controller 7 in response to the AF signal. In a part of an optical system in the AF sensor or in AF unit 9, an offset portion is provided that shifts the actual wafer surface, of which the AF signal indicates the focusing position, in the direction of the optical axis of projection optical system PL. Any shift amount can be set in the offset portion from a main control system 8.

[0021] In the measuring of the best focusing position according to the above embodiment, a predetermined shift amount will be sequentially set in the offset portion. In addition to the overall control of various operations performed by the exposure apparatus main body, the main control system 8 also comprises a memory to store exposure conditions. To measure the imaging qualities of projection optical system PL, a test reticle on which line-and-space patterns are formed is carried to reticle stage RS instead of a device reticle.

[0022] Now the method of measuring the imaging qualities of projection optical system PL according to the embodiment of the present invention will be described below. First the measuring principle whereby the imaging qualities of projection optical system PL according to the present invention are measured will be described. The basic concept of the measuring principle is that the

focusing position where the contrast of the light that the photoresist receives is highest is obtained, and it be determined to be the best focusing position. That is, when the dose is increased when transferring a

5 predetermined pattern of reticle R (e.g., line-and-space pattern) onto the photoresist of wafer W, the resist image after development grows smaller according to the dose, and when the dose exceeds a certain amount, the resist image disappears. The dose at which the resist

10 image disappears (referred to hereinafter as "disappearing dose") depends on the optical contrast of the pattern transferred on the photoresist, and disappearing dose is larger when the contrast is higher. The contrast changes, depending on the degree of

15 defocusing, therefore, when the measuring pattern is exposed while changing the degree of focus, the disappearing dose changes according to the defocus amount (the focus state).

20 [0023] Fig. 2 is a graph that illustrates the relation between the focus and the disappearing dose. The horizontal axis illustrates the focusing position and the vertical axis illustrates the disappearing dose. In Fig. 2, because the focusing position corresponding to the

25 peak of the curve at which the disappearing dose is greatest shows that the contrast has reached its maximum, this focus position where the disappearing dose becomes maximum is the best focusing position. The method of

detecting the best focusing position based on the relation between the degree of defocusing and the disappearing dose will hereinafter be referred to as "overexposure method".

5

[0024] The measuring method used in the overexposure method will now be described. Fig. 3 illustrates a measuring reticle R used to measure the best focus by the overexposure method. On measuring reticle R, line-and-space patterns 21a, 21b, 21c, 21d, and 21e are provided. For the sake of convenience, the line-and-space patterns illustrated each have only three lines but in actual, more line patterns are provided.

15 [0025] In the case of the line-and-space patterns illustrated in Fig. 3, the exposure intensity distribution that the resist image receives is illustrated in a solid line in Fig. 4. Fig. 4A illustrates the exposure intensity distribution obtained when the best focus is achieved, and Fig. 4B illustrates the exposure intensity distribution obtained when defocused. In Figs. 4A and 4B, the horizontal axis indicates the position on the resist and the vertical axis indicates the dose (exposure energy) that the resist receives. In Figs. 4A and 4B, D indicates a slice level of the exposure intensity at which a positive resist dissolves in a developing solution under a predetermined development condition. That is, when the intensity (Ex)

20

25

is greater than slice level D at a certain position in the x direction, the resist dissolves in the developing solution, whereas when the intensity is smaller than slice level D, the resist remains on wafer W after
5 development. Accordingly, the resist image is formed on wafer W in such areas where the dose (energy) is smaller than slice level D.

[0026] The thickness of the resist image formed on wafer
10 W is related to the magnitude of the minimum part (E_{min}) of the exposure intensity distribution (energy distribution) curve. The film loss is more conspicuous when dose (energy) E_{min} is greater, and when dose E_{min} is smaller a good resist profile with less film loss can be
15 obtained. Therefore, when the difference between dose E_{min} and slice level D is expressed as ΔE_{min} , ΔE_{min} indicates the contrast of the resist image itself. Such difference may be used as a scale to decide the best focus, and by setting the focusing position at which
20 ΔE_{min} is greatest as the best focusing position, the position at which the resist image has the optimum profile can be obtained as the best focus.

[0027] In cases where surplus exposure energy thoroughly
25 removes the resist image from the wafer after development, the exposure intensity distribution curves result as is shown in dotted lines in Figs. 4A and 4B. That is, when $E_{min} \geq D$, the resist image disappears completely, while

at a minimum dose E_d at which the resist image disappears,
 $E_{dmin} = D$. In this case, the exposure intensity
distribution in one exposure can be expressed as a linear
function, and the exposure intensity at E_{min} can be
5 expressed as $f(x) \bullet E$. Therefore, when a reference dose
(appropriate dose) is set as E_b , the difference between
 E_{dmin} and E_{bmin} , ΔE_{min} , can be expressed as $f(x) \bullet (E_d - E_b)$.
Accordingly, ΔE_{dmin} is replaced with a function of ΔE ,
which is a difference between each dose of E_d and E_b , and
10 can be treated as $f(x) \bullet \Delta E$.

[0028] In this embodiment, a relative value (IED) of E_{min}
when exposure is performed with a set dose E_b is obtained
by standardizing the $f(x) \bullet \Delta E$ with E_b , and the relative
15 value IED obtained for each of the focusing positions are
made to be used as a scale to decide the best focus. The
relative value IED is a function of ΔE , therefore, it can
be said that it is a value quantifying the profile of the
resist image and corresponding to the contrast of the
20 image. Quantifying the profile of the resist image as in
this embodiment enhances the accuracy with which the best
focusing position is measured. Alternatively, the amount
of exposure E_d may also be used to standardize the dose,
with the relative value of E_{min} being expressed as RPC.
25 The calculating method of IED and RPC will be described
later below.

[0029] The operations of best focus measurement by the

overexposure method will now be described.

(1) Setting the Reference Dose (Exposure Energy) E_b

To be exact, the reference dose E_b is a dose (optimum dose) wherein at the center of the focusing range where a
5 subject pattern is resolved, the size of the subject pattern is "1" divided by the magnification of the projection optical system of the reticle dimensions. However, when the same reference dose E_b is used to obtain IED at each of the focusing positions, the
10 variation that may be caused in the best focusing position will be extremely small even though the variation in the IED value caused by the change in reference dose is great, which therefore simply allows $2\sigma_D$ or an approximate value which is usually used as the
15 optimum exposure amount to be used. This optimum dose E_b is stored in advance in the exposure apparatus, for example, by the operator inputting optimum dose E_b into main control system 8 using a keyboard (not shown) or other means, or by storing optimum dose E_b in a measuring
20 program recorded in a storage device provided in main control system 8.

(2) Setting the Maximum and Minimum Doses

The dose whereby the resist image of the subject pattern
25 remains in five or more focusing positions (in focusing positions for five or more shots) is obtained in advance as the minimum dose.

[0030] The dose whereby the subject pattern has disappeared in all the focusing positions (focusing positions for all the shots) is obtained in advance as the maximum dose. These maximum and minimum doses are stored in advance in the exposure apparatus, for example, by the operator inputting such doses in main control system 8 using a keyboard (not shown) or other means, or by storing such doses in a measuring program recorded in a storage device provided in main control system 8.

[0031] (3) Preparing the Measuring Wafer

On a wafer coated with a predetermined thickness of photoresist, each of the patterns 21a to 21i formed on the test reticle in Fig. 3 is exposed onto a plurality of shots by varying conditions on the focusing position and the dose, using a test reticle illustrated in Fig.3. In the embodiment, in order to transfer only one pattern of the patterns formed on the test reticle onto wafer W, the reticle blind 20 is used to blind all the other patterns so that shot matrices exposed while changing the focusing position and the dose are formed corresponding to the number of patterns. Since the test reticle illustrated in Fig. 3 has 9 patterns (21a to 21i) formed on it, 9 shot matrices Sa to Si are formed on wafer W as is illustrated in Fig. 5A.

[0032] Fig. 5B illustrates a shot matrix Sa, which is produced by adjusting reticle blind 20 so that only

pattern 21a will be exposed, setting a total of 330 shots in a 15 x 22 matrix in the x and y directions, respectively, on wafer W, and by sequentially exposing the image of pattern 21a on each shot area of wafer W based on a step-and-repeat method. In this case, the 22 shots arranged in the y direction are each given a constant offset dose. To be more specific, instructions to change the exposure time by a predetermined period (such as from a few seconds to several tens of seconds) may be given to shutter controller 6 in Fig. 1, according to the shot position in the y direction.

[0033] In Fig. 5B, for shots $L1_1$ to $L1_{15}$ that are to be given a minimum dose, an exposure time corresponding to the minimum dose set according to the above (1) is set in the main control system 8. Such shots are considered to have a 0 (zero) offset, and a predetermined offset is sequentially set from the top to the bottom of the shot arrangement in the y direction. In this embodiment, the offset is set to be a set maximum dose, when 22 levels of offsets are given.

[0034] Meanwhile, in the shot arrangement shown in Fig. 5B, the 15 shot areas arranged in the x direction are each given a constant offset to the focusing condition. To be more specific, instructions to change the focus amount by, for example, 0.1 μm each, according to the shot position in the x direction, may be given to the

offset portion provided in AF unit 9 illustrated in Fig.

1. In Fig. 5B, the offset is set to zero at L1₉, which is around the center of the shot arrangement in the x direction, and the offsets of the shot arrangement in the x-direction are sequentially set from left to right, to the following 15 levels: + 0.8 μm , + 0.7 μm , + 0.6 μm , + 0.5 μm , + 0.4 μm , + 0.3 μm , + 0.2 μm , + 0.1 μm , \pm 0.0 μm , - 0.1 μm , - 0.2 μm , - 0.3 μm , - 0.4 μm , - 0.5 μm , and - 0.6 μm , respectively. The + or - sign indicates the direction of the offset effected.

[0035] Each of the 330 shots illustrated in Fig. 5B made in the manner described above have slightly different exposure conditions that are stored in main control system 8. Similarly, the other patterns 21b to 21i of the test reticle are sequentially exposed in the shape of a matrix, forming shot matrices Sb to Si on wafer W that correspond to each pattern. The exposure conditions for the shot areas of the matrices are also stored in the main control system 8. In this manner, the exposure conditions for 330 x 9 shots are stored in main control system 8.

[0036] (4) Measuring the Pattern Disappearing Dose Ed
A wafer alignment sensor 11 detects each of the resist patterns remaining after development in the shot areas formed on the measuring wafer that is made. To be more specific, shots whose subject pattern has completely

disappeared at each focus and could not be detected by wafer alignment sensor 11 (disappearing shots) are detected. Fig. 6 illustrates shot areas where the resist images have disappeared and those where the resist images remain in the shot matrix Sa shown in Fig. 5B. The blank shots indicate the shots where the subject pattern remains on the wafer, and the black and hatched shots indicate the shots where the subject pattern has disappeared from the wafer.

10

[0037] In particular, the black shots indicate the shots that are exposed with the minimum dose where the resist images disappear first (minimum disappearing shot), and the dose for the minimum disappearing shot (disappearing dose Eb) and the focusing position for the shot are stored from the exposure conditions stored for each shot as is described above, in (3).

15

(5) Calculating the Value IED That Corresponds to the Resist image Contrast

20

Based on the measurements and storage results, main control unit 8 calculates the IED for each focus using the following equation and stores it in memory.

$$[0038] \quad (E_d - E_b)/E_b = \text{IED} \quad (E_d - E_b)/E_d = \text{RPC}$$

25

(5) Data Processing

When plotting the IED calculated from the above equation (IED for each of the focuses) against the focus, and fitting it by approximate calculation, a relation as is

shown in Fig. 7 can be obtained between focus and IED. The horizontal axis in Fig. 7 indicates the focus and the vertical axis indicates IED.

5 [0039] As mentioned above, since IED is a value corresponding to the contrast of the resist image, the curve illustrated in Fig. 7 indicates the variation in contrast of the image of the subject pattern caused by defocusing. The contrast is highest at the position where
10 the curve peaks.

(6) Deciding the Best Focusing Position

The curve data as illustrated in Fig. 7 is sliced with an appropriate offset value from the maximum value and its midpoint is detected as the best focus. However, the
15 focusing position where the contrast is highest is usually obtained as the best focus, with the offset value set to 0 (zero). (7) Processes (4) to (6) above are performed on the other shot matrices (Sb to Si) to obtain the best focusing position for each of the shot matrices
20 (patterns 21a to 21i). By treating the IED as a value that corresponds to the contrast of the resist image and performing measuring and calculation as is described above, the best focus and best focus profile obtained by the overexposure method are made to substantially
25 coincide with each other with only a small variation in measurements, thus improving the measurement accuracy of the best focus while reducing the measuring time. While the above embodiment uses IED, the best focusing position

may also be obtained in a similar manner, using RPC.

[0040] As is described, because the best focusing position for each of the patterns 21a to 21i are obtained in the manner above, the curvature of field of the projection optical system can also be measured and evaluated. In addition, the sensor for measuring the resist image is not limited to alignment sensor 11 described above. For example, the sensor may be of a type (FIA) that uses an image pickup device used in, for example, a CCD camera, to detect the patterns on the wafer, as is disclosed in Japanese Patent Application Laid-open No. H2-54103, or, alternatively, of a type (LIA) whereby the wafer is irradiated by two laser beams with a slightly different frequency from two different directions, and the interference light of the diffracted beams that travel in the same direction is received to detect the position of the pattern based on the phase difference between photoelectric signal and reference signal caused by the interference light. Also, besides the alignment sensor provided in the exposure apparatus, the resist image may be detected with an optical microscope or an electron microscope.

[0041] In addition, the light source in the apparatus illustrated in Fig. 1 is not limited to a mercury lamp, and even when using an excimer laser (KrF, ArF), copper vapor laser, solid laser, or the like, the exposure

conditions measurement by the overexposure method can be applied to the apparatus. Alternatively, even when an excimer laser (Krf, Arf) and a chemically amplified photoresist are used, the exposure conditions measurement
5 by the overexposure method can be applied to the apparatus.

[0042] While in the above embodiment the dose is controlled by adjusting the length of exposure time, the
10 dose may be controlled any other appropriate way. Specifically, the intensity of light from the light source may be varied, which may be achieved by changing the voltage supplied to the mercury lamp or excimer laser. Alternatively, the intensity of the light from the light
15 source may be adjusted using an attenuation filter. For example, as is disclosed in Japanese Patent Application Laid-open No. H2-135723, a plurality of attenuation filters that are switched to adjust the intensity of light from the light source may be provided insertable on
20 the optical path.

[0043] The exposure conditions measurement by the overexposure method described above can also be applied to a so-called scanning type exposure apparatus whereby
25 the reticle and the wafer are synchronously moved with respect to the projection optical system. In addition, the projection optical system may be a refracting type, a catadioptrical type, or a reflection type. The exposure

conditions measurement by the overexposure method described above can also be applied to an X-ray exposure apparatus or an electron beam exposure apparatus.

5 [0044]

[Advantages of the Invention] As is described above, according to the present invention, quantitative evaluation of the shape of the resist image exposed on the resist can be performed, which improves the accuracy of the best focus measurement. In addition to the best focus measurement, the present invention also makes the measurement of depth of focus and comparison of contrasts at each measuring point possible. The invention also improves measuring accuracy and repeatability, and reduces the measuring time. Furthermore, the present invention can be applied to a resist pattern of any shape.

[0045] Also, the effect can be obtained in which the variation in best focus depending on the resist is eliminated. Furthermore, by using the alignment sensor in the exposure apparatus, the best focus measurement can be automatically performed.

[Brief Description of the Drawings]

25 Fig. 1 schematically illustrates a configuration of an exposure apparatus having a focusing function according to an embodiment of the present invention.

Fig. 2 illustrates a relation between focus and disappearing dose.

Fig. 3 schematically illustrates a configuration of a measurement reticle pattern formed on a test reticle.

Fig. 4 illustrates an exposure intensity distribution of line-and-space patterns on a resist. Fig. 4A illustrates an exposure intensity distribution near the best focus position. Fig. 4B illustrates an exposure intensity distribution in a defocused state.

Fig. 5A illustrates shot matrices exposed sequentially by varying exposure conditions. Fig. 5B is an enlarged view of a shot matrix.

Fig. 6 illustrates the shot matrix in Fig. 5B indicating a shot arrangement where resist images have disappeared.

Fig. 7 illustrates a relation between focusing position and IED (a value corresponding to contrast) within a shot matrix.

[References of Major Parts]

1: Light source, 8: Main control system,
11: Alignment system, 14 to 18: Focus detection system,
20: Reticle blind, 21a to 21i: Reticle patterns,
Sa to Si: Shot matrices, R: Reticle, W: wafer

[DRAWINGS]

FIG. 1

5 FIG. 2 DISAPPEARING DOSE
BEST FOCUS FOCUS

FIG. 3

FIG. 4A Edmin ΔE_{min} Ebmin
10 NEAR THE BEST FOCUS

FIG. 4B _____ REFERNECE DOSE E
..... DISAPPEARING DOSE E
Edmin ΔE_{min} Ebmin
15 DEFOCUSED STATE

FIG. 5 (A)

FIG. 5 (B) FOCUSING POSITION
SMALL < --DOSE-- > LARGE

20

FIG. 6 FOCUSING POSITION

+ < -- +/- -- > -

SMALL < -- DOSE -- > LARGE

25

☐ RESIST IMAGE REMAINING SHOT☒ RESIST IMAGE DISAPPEARING SHOT: Ed☒ RESIST IMAGE DISAPPEARING SHOT

FIG. 7 IED/FOCUS

BEST FOCUS

APPROXIMATE CURVE

MEASUREMENT DATA

FOCUS (μm)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-8194

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月12日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	F I		
H01L 21/027		H01L 21/30	502	V
G03F 7/20	521	G03F 7/20	521	
		H01L 21/30	502	G
			516	Z

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全9頁)

(21) 出願番号 特願平10-113907

(22) 出願日 平成10年(1998) 4月23日

(31) 優先権主張番号 特願平9-109063

(32) 優先日 平9(1997) 4月25日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 武正 建吾

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

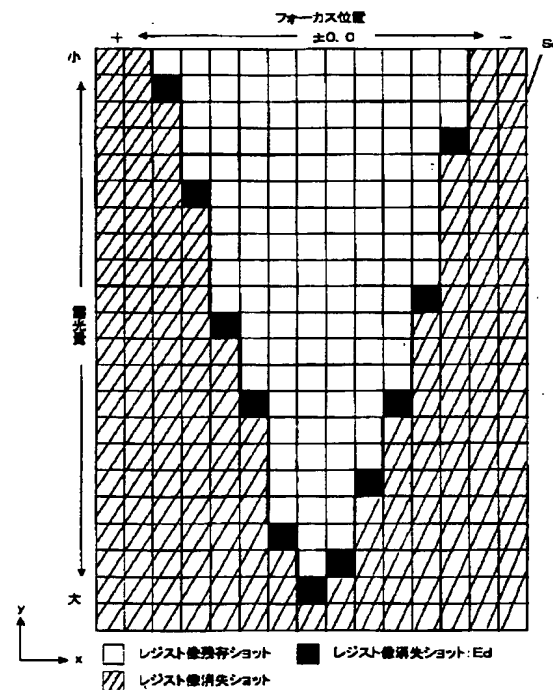
式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 露光条件測定方法、投影光学系の評価方法及びリソグラフィシステム

(57) 【要約】

【目的】 精度、再現性よく投影光学系の結像特性（ベストフォーカス等）を計測する。

【構成】 投影露光装置はウエハWを載置するステージ S TとウエハWの高さ位置を検出する焦点検出系を有する。フォーカスと露光量を変えながらウエハW上にテストパターンを露光し、露光条件の異なるショットマトリクスを形成する。露光はテストパターンが現像により消失する露光量までオーバ露光され、現像後のテストパターンのレジスト像の有無をアライメントセンサ11で検出し、各フォーカス位置でのレジストパターンが最初に消失した消失露光量を求める。消失露光量が最大となるフォーカス位置をベストフォーカス位置とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 表面にレジスト層を塗布した基板を所定の露光基準面に配置し、該基板にマスクのパターンを所定のエネルギー量で露光する露光装置を用いて、該基板への露光条件を測定する方法において、

前記基板上の異なる複数の部分領域の各々に、前記露光基準面と前記基板との間隔を変えると同時に、前記複数の部分領域の各々において、前記所定のパターンのレジスト像が現像により消失するまで露光エネルギーを変化させながら前記所定のパターンを露光することを特徴とする露光条件測定方法。

【請求項 2】 変化させた前記露光エネルギーを逐次記憶することを特徴とする請求項第 1 項に記載の方法。

【請求項 3】 現像後の前記レジスト像の有無に基づいて、前記レジスト像が消失する露光エネルギーを求めることを特徴とする請求項第 1 項または第 2 項に記載の方法。

【請求項 4】 前記露光基準面と前記基板との間隔方向における各位置にて、前記消失する露光エネルギーを求めることを特徴とする請求項第 3 項に記載の方法。

【請求項 5】 前記消失する露光エネルギーに基づいて、前記レジスト像のコントラストに対応する値を求めることを特徴とする請求項第 3 項に記載の方法。

【請求項 6】 前記消失する露光エネルギーを所定の基準露光エネルギーで規格化し、前記コントラストに対応する値を求めることを特徴とする請求項第 5 項に記載の方法。

【請求項 7】 前記コントラストに基づいて、前記露光装置の最良結像面を求めることを特徴とする請求項第 5 項または請求項第 6 項に記載の方法。

【請求項 8】 前記露光装置内に設けられた検出装置により前記レジスト像を検出することを特徴とする請求項第 1 項に記載の方法。

【請求項 9】 前記検出装置の検出結果に基づいて、前記レジスト像の消失の有無を判定することを特徴とする請求項第 8 項に記載の方法。

【請求項 10】 表面にレジスト層を塗布した基板を所定の露光基準面に配置し、該基板にマスクのパターンを所定のエネルギー量で露光する露光装置を用いて、該露光装置の投影光学系を評価する方法において、前記基板上の異なる複数の部分領域の各々に、前記露光基準面と前記基板との間隔を変えると同時に、前記複数の部分領域の各々において、前記所定のパターンのレジスト像が現像により消失するまで露光エネルギーを変化させながら前記所定のパターンを露光し、前記レジスト像が消失する露光エネルギーに基づいて前記投影光学系を評価することを特徴する投影光学系の評価方法。

【請求項 11】 表面にレジスト層を塗布した基板を所定の露光基準面に配置し、該基板にマスクのパターンを所定のエネルギー量で露光し、現像後に前記レジスト上

に形成された前記マスクパターンを検出する露光装置を用いて、該露光装置の投影光学系を評価するリソグラフィシステムにおいて、

前記基板を載置し、前記投影光学系と前記基板との間隔方向の位置を調整するとともに、前記基板を 2 次元移動する基板ステージと；前記基板上の異なる複数の部分領域の各々に、前記露光基準面と前記基板との間隔を変えながら所定のパターンを露光するように前記基板ステージを制御するとともに、前記複数の部分領域の各々において、前記所定のパターンのレジスト像が現像により消失するまで露光エネルギーを変化させる制御系と；前記複数の部分領域内の前記レジスト像を検出する検出系と；前記検出系の検出結果に基づいて、前記レジスト像が消失するエネルギーを前記部分領域毎に検出するとともに、該消失するエネルギーに基づいて前記投影光学系の結像特性を算出することを特徴するリソグラフィシステム

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は露光条件測定方法及び投影光学系の評価方法に関し、特に半導体集積回路、液晶基板、薄膜磁気ヘッド等の製造用の投影露光装置を用いた露光条件測定方法、投影露光装置の投影光学系の評価方法及びリソグラフィシステムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、この種の半導体集積回路においては、高集積化の要望が益々高まってきており、それに伴い半導体集積回路製造用の投影露光装置では高解像度化の要求が高まっている。投影露光装置で高解像度を計るためには、投影露光装置の投影光学系の結像性能を向上させることが重要な課題となっている。そのため、投影光学系の結像性能を正確に計測、評価することが大切となっている。

【0003】この種の投影露光装置用の投影光学系の結像性能評価のうち結像面の計測は、例えば(1)フォーカスを変化させながらウエハ上に所定のレチクルパターンを露光し、走査電子顕微鏡を用いてウエハ上に形成されたレジストのパターン寸法の測定を行う。そして得られた測定データを露光時のフォーカスに対応させてプロットし、フィッティングにより得られた曲線の極大或いは極小部分を所定の閾値でスライスし、その中点からベストフォーカスを求める方法があった。

(2) また、くさび形のレチクルパターンをウエハ上に転写し、くさび形のレチクルパターンの長手対角線方向の線幅を露光装置内のアライメントセンサで計測して、

(1) と同様のベストフォーカス決定手法によりベストフォーカス位置を求めるもので、デフォーカスによるレジストパターンの短手対角線方向の線幅変化を長手対角線方向の線幅変化に置き換えて計測精度を向上させる方

法も提案されていた（特開平 2 - 3 0 1 1 2 号公報）。

【0004】（3）その他、対象となるレチクルパターンが解像しているフォーカス範囲の中心をベストフォーカスとする方法や最も小さなパターンまで解像しているフォーカス位置をベストフォーカス位置とするベストフォーカス決定手法も提案されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この種の測定方法においてパターン形状と計測結果には密接な関係があることが本件発明者により解析されたが、従来の測定方法ではレジスト像のボトム部分のみのパターン寸法測定では得られたデータが線幅のみの一次元的なものであるために、パターン形状は推定に頼らざるを得なく計測精度が低下するという問題点があった。

【0006】また、計測対象の微細化に伴い寸法の測定精度及び再現性が低下し、その都度レジストを含めた測定条件及びデータ処理条件の変更・設定が必要になる。また、フォトリソ像のボトム部分だけでなくトップ部分のパターン寸法測定を行うことによりパターン形状が考慮されるようになるが、測定されたデータにボトム部分の寸法とトップ部分の寸法の両方の測定誤差を含んでしまうために、ボトム部分のみの場合よりも再現性が悪化してしまうほか、測定時間が長くなるという問題もあった。

【0007】また、上記評価技術では高価な走査電子顕微鏡を使用することが望ましく、コスト面で割高となるという問題点もあった。また、くさび形のレチクルパターンを用いる方法は対象パターンが基準パターンに限られ、それ以外の形状のパターンでは使用できないという問題がある。またレジストパターンの幅を長さ置き換えて測定しているため、微細線幅パターンを直接評価していることにはならず、投影光学系の結像面に対する収差の影響が幅と長さで異なるため必ずしもこの方法で求めたベストフォーカスは一致しないという問題がある。

【0008】また、対象パターンの解像しているフォーカス範囲の中心をベストフォーカスとする方法ではデータの連続性が損なわれるため、露光時のフォーカスステップの $1/2$ が測定誤差として測定結果に含まれることになり詳細な測定には不向きであった。また、最小解像フォーカス位置をベストフォーカスとする方法は、フォーカス範囲の中心をベストフォーカスとする方法と同様の問題点を持っているために、対象パターンサイズ情報として結像面に対する収差の影響が異なるそれ以外のサイズのパターン情報が含まれることとなり純粋に対象としているパターンについての結像面とはいえなくなってしまうことも考えられる。

【0009】本発明は以上の点を考慮してなされたもので、精度・再現性よく投影光学系の結像特性（ベストフォーカス、像面湾曲等）を計測することを目的とする。

また、本発明はあらゆる対象パターンに於いて精度・再

現性よく、投影光学系の結像特性の計測を可能とすることを目的とする。また、本発明はあらゆる対象パターンに於いて短時間で精度・再現性よく、しかも定量的にパターン形状を評価することを目的とする。た、その評価に基づいてベストフォーカスを計測することを目的とする。

【0010】

【課題を解決する為の手段】かかる問題点を解決するため本発明においては、表面にレジスト層を塗布した基板を所定の露光基準面に配置し、該基板にマスクのパターンを所定のエネルギー量で露光する露光装置を用いて、該基板への露光条件を測定する方法において、基板上の異なる複数の部分領域の各々に、露光基準面と基板との間隔を変えるとともに、複数の部分領域の各々において、所定のパターンのレジスト像が現像により消失するエネルギーまで露光エネルギーを変化させながら所定のパターンを露光することとした。

【0011】また、表面にレジスト層を塗布した基板を所定の露光基準面に配置し、該基板にマスクのパターンを所定のエネルギー量で露光する露光装置を用いて、該露光装置の投影光学系を評価する方法において、基板上の異なる複数の部分領域の各々に、露光基準面と基板との間隔を変えるとともに、複数の部分領域の各々において、所定のパターンのレジスト像が現像により消失するエネルギーまで露光エネルギーを変化させながら所定のパターンを露光し、レジスト像が消失するエネルギーに基づいて投影光学系を評価することとした。

【0012】さらに、表面にレジスト層を塗布した基板を所定の露光基準面に配置し、該基板にマスクのパターンを所定のエネルギー量で露光し、現像後に前記レジスト上に形成された前記マスクパターンを検出する露光装置を用いて、該露光装置の投影光学系を評価するリソグラフィシステムにおいて、基板を載置し、投影光学系と基板との間隔方向の位置を調整するとともに、基板を2次元移動する基板ステージと；基板上の異なる複数の部分領域の各々に、露光基準面と基板との間隔を変えながら所定のパターンを露光するように基板ステージを制御するとともに、複数の部分領域の各々において、所定のパターンのレジスト像が現像により消失するエネルギーまで露光エネルギーを変化させる制御系と；複数の部分領域内のレジスト像を検出する検出系と；検出系の検出結果に基づいて、レジスト像が消失するエネルギーを部分領域毎に検出するとともに、該消失するエネルギーに基づいて投影光学系の結像特性を算出することとした。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳述する。図1は本発明の第1の実施例による合焦機能を有するステッパーの概略的な構成を示す図である。図1において、高圧水銀ランプ等の露光用光源1からの露光光（g線、i線）は楕円鏡2で集光された後、

露光量制御用のシャッタ 3 を通り、フライアイレンズを含むオプティカルインテグレータ 4、レチクル R 上の照明領域を規定するレチクルブラインド 2 0、主コンデンサーレンズ C L を介してレチクル R を照明する。露光光源 1 から主コンデンサーレンズ C L までは、露光用の照明系であって、露光用光源 1 の発光強度がほぼ一定であるとする、シャッタ 3 の開時間をシャッタコントローラ 6 で制御することで、ウエハ W 上での積算露光量を制御することができる。

【 0 0 1 4 】レチクル R は 2 次元 (x , y , 回転方向) に微動するレチクルステージ R S 上にレチクルアライメント系 5 によりアライメントされた後保持され、レチクル R のパターン領域に形成された各種パターンは、両側テレセントリックな投影光学系 P L によってウエハ W 上に投影される。ウエハ W を載置したウエハステージ S T は、一定量ずつ x , y 方向にステップングして、レチクル R のパターン領域内の各種パターンをウエハ W 上のショット領域毎に逐次投影露光する。このウエハステージ S T はステージコントローラ 7 によって制御され、ステージコントローラ 7 には駆動用のモータと、ステージ S T の座標値を計測するレーザ干渉計とが設けられている。

【 0 0 1 5 】図 1 の装置には、ウエハ W 上の各種アライメントマークを検出するウエハアライメント系が設けられている。図 1 に示すように H e - N e 、 A r イオン等のレーザ光源 1 1 a からのレーザビームは、シリンダリカルレンズ等を含むレンズ系 1 1 b 、ビームスプリッタ 1 1 c 、及び対物レンズ 1 0 を介してミラーで折り曲げられて投影光学系 P L を介してウエハ W 上に垂直に照射される。レーザビームはレンズ系 1 1 b の作用でウエハ W 上で一方向に伸びたスリット状のスポット光となる。

【 0 0 1 6 】ウエハ W (ウエハ W 上のウエハアライメントマーク) からの戻り光は、投影光学系 P L を逆進し、対物レンズ 1 0 を介してビームスプリッタ 1 1 c で反射され、瞳リレー系 1 1 d 、空間フィルター 1 1 e を通って光電素子 1 1 f に受光される。空間フィルター 1 1 e は投影光学系 P L の瞳とほぼ共役な関係に配置され、ウエハ W からの戻り光のうち、正反射光を遮光して回折光と散乱光を通す。

【 0 0 1 7 】光電素子 1 1 f からの光電信号は、信号処理系 1 2 に入力し、ここでマーク (パターン) のプロファイルに対応した波形に基づいて、マーク位置が検出される。このとき信号処理系 1 2 は、ステージコントローラ 7 内のレーザ干渉計からの位置計測パルスを使って光電素子 1 1 f からの光電信号をサンプリングする。このようなウエハアライメント系 1 1 、信号処理系 1 2 を用いて、ウエハ W 上に形成されたレジストパターンを自動計測する (詳細後述) 。

【 0 0 1 8 】ところで、図 1 の露光装置には、投影光学系 P L のベストフォーカス面とウエハ W のレジスト面と

の間隔方向 (光軸方向) に関する位置関係を調整するための焦点検出系が設けられている。本実施例では図 1 に示すように、レジスト層に対して非感光性の光源 1 4 からの光を投射光学系 1 5 によって結像光束にしてウエハ W へ斜めに投射し、その反射光を受光光学系 1 6 、スリット 1 7 を介して光電検出器 1 8 で受光する斜入射光式焦点検出系 (A F センサ) が設けられている。

【 0 0 1 9 】この A F センサは、投影光学系 P L のベストフォーカス面とウエハ W の表面とが一致しとき、合焦を表す信号を検出器 1 8 が出力し、ベストフォーカス面に対してウエハ表面が上下 (光軸) 方向にずれているときは、そのずれ量に対応した信号を出力する。これら合焦や焦点ずれを表す信号 (A F 信号とする) は、焦点制御ユニット (以下 A F ユニットとする) 9 によって処理される。

【 0 0 2 0 】また、ウエハステージ S T には、ウエハ W を光軸方向に微小移動させる Z ステージと、ウエハ W を x - y 平面内で微小回転させる θ ステージも設けられているおり、A F 信号に応答して、ステージコントローラ 7 の制御のもとで Z ステージを駆動することで、自動焦点合わせが行われる。尚、A F センサの光学系内の一部、又は A F ユニット 9 内には、A F 信号が合焦点を表す実際のウエハ表面を、投影光学系 P L の光軸方向にシフトさせるオフセット部も設けられており、このオフセット部には、主制御系 8 から任意のシフト量を設定することができる。

【 0 0 2 1 】本実施例におけるベストフォーカス計測には、このオフセット部に所定のシフト量を順次設定していくことになる。また、主制御系 8 は、露光装置本体の各種動作を統括制御するのはもちろんのこと、さらに露光条件を記憶する記憶部を備えている。投影光学系 P L の結像性能の測定には、デバイスレチクルの代わりに、計測用のラインアンドスペースパターンが形成されたテストレチクルがレチクルステージ R S に搬送される。

【 0 0 2 2 】次に本発明の実施例による投影光学系 P L の結像性能の測定方法について説明する。まず本発明による投影光学系 P L の結像性能の測定の原理について説明する。その基本的な考え方は、レジストが受ける光のコントラストが最も高いフォーカス位置を求め、その位置をベストフォーカス位置とするものである。すなわち、レチクル R 上の所定のパターン (例えばラインアンドスペースパターン) をウエハ W のレジスト上に露光する際、露光量を増加させてゆくと、現像後のレジスト像はそれに応じて小さくなり、ある露光量を超えるとレジスト像は消失する。レジスト像が丁度消失する露光量 (以下「消失露光量」という) の大きさはレジストに露光されたパターンの光学的なコントラストに依存し、コントラストが高いほど消失露光量は大きくなる。コントラストはデフォーカスに依存して変化するので、フォーカスを変えながら測定パターンを露光すると消失露光量

はデフォーカス量（フォーカス状態）に応じて変化する。

【0023】図2は、フォーカスと消失露光量との関係を示すグラフであり、横軸はフォーカス位置、縦軸は消失露光量を示す。図2中、消失露光量が最大となる曲線のピークに対応したフォーカス位置は、コントラストが最大であることを意味するから、この消失露光量が最大となるフォーカス位置がベストフォーカス位置となる。以上のように、デフォーカスと消失露光量との関係に基づいて、ベストフォーカス位置を検出する手法を以下オーバ露光法と呼ぶ。

【0024】次に、オーバ露光法の具体的な測定方法について説明する。図3は、オーバ露光法によるベストフォーカス測定のための計測用レチクルRを示す図である。計測用レチクルRにはラインアンドスペース（L&S）パターン21a、21b、21c、21d、21eが設けられている。図3では便宜上3本のL&Sパターンを図示しているが、実際にはもっと多いラインパターンが設けられている。

【0025】図3に示すようにL&Sパターンの場合、結像に際しレジストの受ける露光強度分布は図4で示した実線の様になる。ここで図4Aはベストフォーカス時の露光強度分布を示し、図4Bはデフォーカス時の露光強度分布を示す。図4A、図4Bにおいて、横軸はレジスト上での位置を示し、縦軸はレジストの受ける露光量（露光エネルギー）を示している。図4A、図4B中のDは所定現像条件にてポジレジストが現像液に溶解する露光強度のスライスレベルである。即ち、x方向のある位置での強度（ E_x ）がスライスレベルDより大きい部分のレジストは現像液に溶解し、スライスレベルDより小さい部分のレジストは現像後もウエハW上に残る。従って、露光量（エネルギー）がスライスレベルDより小さい部分でレジスト像がウエハW上に形成されることになる。

【0026】一方、ウエハW上に形成されたレジスト像の厚さは、露光強度分布（エネルギー分布）の曲線の極小部分の大きさ（ E_{min} ）に関係があり、露光量（エネルギー） E_{min} は大きいほど膜厚が顕著になり、小さいほど膜厚のない良好なレジストプロファイル得られることになる。よって、露光量 E_{min} とスライスレベルDの差を ΔE_{min} とすると、 ΔE_{min} はレジスト像自体のコントラストを示していることになり、その大きさをベストフォーカスを決定するための尺度として使用し、 ΔE_{min} が最大となるフォーカス位置をベストフォーカス位置とすることで、レジスト像の最もプロファイルの良好な位置をベストフォーカスとして求めることが可能となる。

【0027】過剰な露光エネルギーにより現像後のレジスト像をウエハ上から完全に消失させる場合を考えると、露光強度分布曲線は図4A、図4B中の点線のように

になる。即ち、 $E_{min} \geq D$ の時、レジスト像が完全に消失し、レジスト像が消失している最小の露光量 E_d では $E_{dmin} = D$ となっている。ここで、一回の露光での露光強度分布は線形関数で E_{min} 部分の露光強度は $f(x) \cdot E$ で表すことが出来るので、基準露光量（適正露光量）を E_b とした時の E_{dmin} と E_{bmin} との差 ΔE_{min} は $f(x) \cdot (E_d - E_b)$ となる。従って、 ΔE_{dmin} は E_b 、 E_d の各露光量の差 ΔE の関数に置き換えられ、 $f(x) \cdot \Delta E$ として取り扱うことが可能となる。

【0028】本実施例では、 $f(x) \cdot \Delta E$ を E_b で規格化することにより設定量 E_b で露光された時の E_{min} の相対値（IED）を求め、各フォーカス位置で求めた相対値（IED）をベストフォーカスを決定するための尺度として用いることとした。相対値（IED）は ΔE の関数になるためレジスト像のプロファイルを定量化し、像のコントラストに対応した値であると言える。本実施例のように、レジスト像のプロファイルを定量化することで、ベストフォーカス位置の計測精度が向上する。また規格化する露光量は E_d を用いてもよく、この時の E_{min} の相対値をRPCとする。IED及びRPCの算出方法については後述する。

【0029】次にオーバ露光法によるベストフォーカス測定の動作を説明する。

(1) 基準露光量（露光エネルギー） E_b の設定 正確には基準露光量 E_b は対象パターンが解像しているフォーカス範囲の中心でレチクル寸法の投影光学系の倍率分の1となるような露光量（最適露光量）を用いる。但し、各フォーカス位置でIEDを求める際の基準露光量 E_b が同一であれば、基準露光量変動によるIEDの値の変化は大きくてもベストフォーカスの変動は極めて小さいので簡易的には $2 \cdot D$ 、或いは習慣的に使用している大体の最適露光量等を用いることも可能である。オペレータがこの最適露光量 E_b を不図示のキーボード等により主制御系8に記憶、もしくは主制御系8内の記憶装置に記録された計測用のプログラムの中に最適露光量 E_b を記憶する等予め露光装置内に記憶する。

(2) 最小露光量、最大露光量の設定 5つ以上のフォーカス位置（5ショット以上のフォーカス位置）で対象パターンのレジスト像が残っている露光量を最小露光量として予め求めておく。

【0030】また、全てのフォーカス位置（全てのショットでのフォーカス位置）で対象パターンが全て消失している露光量を最大露光量として予め求めておく。オペレータがこの最小露光量、最大露光量を不図示のキーボード等により主制御系8に記憶、もしくは主制御系8内の記憶装置に記録された計測用のプログラムの中に最小露光量、最大露光量を記憶する等予め露光装置内に記憶する。

【0031】(3) 計測用ウエハの作成 所定膜厚には

レジストを塗布したウエハ上に図 3 のテストレチクルを用いて、図 3 のテストレチクル上の各パターン 2 1 a ~ 2 1 i の各々について、フォーカス位置と露光量の条件を変えながら、ウエハ W 上に複数ショットを露光する。本実施例では、テストレチクル上の各パターンのうちの 1 つだけがウエハ W 上に露光されるように、レチクルブラインド 2 0 によって他のパターン部分を遮光してフォーカス位置と露光量の条件を変えながら露光したショットマトリクスをパターンの数に対応した分だけ形成する。図 3 のテストレチクルには 9 個のパターン (2 1 a ~ 2 1 i) が形成されているので、ウエハ W には図 5 A に示すように、各パターンに対応した 9 個のショットマトリクス (S a ~ S i) が形成されている。

【 0 0 3 2 】図 5 B は、図 3 のテストレチクル上のパターン 2 1 a のみが露光されるように、レチクルブラインド 2 0 を調整し、ウエハ W 上に x , y 方向に例えば 1 5 × 2 2 のマトリクス状に計 3 3 0 ショットを設定して、各ショット領域に対してパターン 2 1 a の像をステップアンドリピート方式で順次露光していったショットマトリクス S a を示している。このとき、y 方向に並ぶ 2 2 個のショットについては、露光量に一定量ずつオフセットを与えるようにする。具体的には、図 1 に示したシャッタコントローラ 6 に、y 方向のショット位置に応じて露光時間を、所定時間ずつ (例えば数 m s e c ~ 数十 m s e c) 変える指令を与えればよい。

【 0 0 3 3 】図 5 B では、最小露光量を与えるショット (L 1 1 ~ L 1 1 5) には、前述の (1) で設定された最小露光量に相当する露光時間を主制御系 8 に設定し、ここをオフセット零として考え、y 方向のショット配列の上から下へ順次、所定のオフセット量を設定する。本実施例では 2 2 段階にオフセットを与えた時、設定された最大露光量となるようにオフセット量が設定されている。

【 0 0 3 4 】一方、図 5 B に示したショット配列で、x 方向に並ぶ 1 5 個のショット領域については、フォーカス条件に一定量ずつオフセットを与えるようにする。具体的には、図 1 に示した A F ユニット 9 内に設けられているオフセット部に、x 方向のショット位置に応じてフォーカス量を例えば 0 . 1 μ m ずつ変える指令を与えればよい。図 5 B では、x 方向のショット配列の中心付近のショット L 1 9 で、オフセット零となるように設定し、x 方向のショット配列の左から右へ順次、+ 0 . 8 μ m , + 0 . 7 μ m , + 0 . 6 μ m , + 0 . 5 μ m , + 0 . 4 μ m , + 0 . 3 μ m , + 0 . 2 μ m , + 0 . 1 μ m , ± 0 . 0 μ m , - 0 . 1 μ m , - 0 . 2 μ m , - 0 . 3 μ m , - 0 . 4 μ m , - 0 . 5 μ m , - 0 . 6 μ m の 1 5 段階に設定してある。正負の符号はオフセットの方向を示している。

【 0 0 3 5 】以上のようにして形成された図 5 B に示す 3 3 0 ショットの各々は、いずれも露光条件がわずかず

つ異なっており、その条件は主制御系 8 内に記憶されている。同様にして、テストレチクル上の他のパターン 2 1 b ~ 2 1 i を順番にマトリクス状に露光し、各パターンに対応したショットマトリクス S b ~ S i がウエハ W 上に形成され、各ショットマトリクスの各々のショットでの露光条件も主制御系 8 内に記憶されている。以上により主制御系 8 内には 3 3 0 × 9 のショット分の露光条件が記憶される。

【 0 0 3 6 】 (4) パターン消失露光量 E d の測定 作成した計測用ウエハ上に形成された、各ショット内の現像後のレジストパターンの各々をウエハアライメントセンサ 1 1 で検出する。具体的には、各フォーカスで対象パターンが完全に消失し、ウエハアライメントセンサ 1 1 で検出できなかったショット (消失ショット) を検出する。図 6 は図 5 B のショットマトリクス S a におけるレジスト像残像ショットと、消失ショットとを示す図である。図 6 中、無印のショットは対象パターンがウエハ上に残っているショットを示し、黒塗り及び斜線のショットは対象パターンがウエハ上から消失しているショットを示している。

【 0 0 3 7 】特に、黒塗りのショットは最初にレジスト像が消失する最小の露光量で露光されたショット (最小消失ショット) であり、(3) で説明した記憶されたショット毎の露光条件から最小消失ショットでの露光量 (消失露光量 E d) と、そのショットのフォーカス位置とを記憶する。(5) レジスト像のコントラストに対応する値 I E D の算出 (4) の計測、記憶結果に基づいて、以下の式により主制御系 8 が I E D を各フォーカス毎に算出し、記憶する。

【 0 0 3 8 】 $(E_d - E_b) / E_b = IED$ (E d - E b) / E d = R P C (5) データ処理 上記式により求めた各 I E D (各フォーカス毎の I E D) をフォーカスに対してプロットし、近似計算によりフィッティングすると図 7 に示すようなフォーカスと I E D との関係が得られる。図 7 の横軸はフォーカス位置を示し、縦軸は I E D を示す。

【 0 0 3 9 】前述の如く I E D がレジスト像のコントラストに対応した値なので、図 7 に示す曲線はデフォーカスによる対象パターン像のコントラスト変化を表すものとなり、曲線の極大となるフォーカス位置で最もコントラストが高くなる。(6) ベストフォーカス位置の決定 そこで、図 7 に示すような曲線データを極大値から適当なオフセット値でスライスし、その中点をベストフォーカスとして検出する。但し、通常はオフセット値は 0 として、最もコントラストが高くなるフォーカス位置をベストフォーカスとして求める。(7) (4) から

(6) の動作を他のショットマトリクス (S b ~ S i) の各々について実行し、各ショットマトリクス (各パターン 2 1 a ~ 2 1 i) 毎に、ベストフォーカス位置を求める。I E D がレジスト像のコントラストに対応した値

として扱い、以上の手順に基づき計測、演算を行うことより、オーバ露光法により求めたベストフォーカスとベストフォーカスプロファイルはほぼ一致したものとなり、測定結果のばらつきが小さく、ベストフォーカスの計測精度が向上した。また、測定時間も短くできた。上述の実施例では、I E Dを用いた例を示したが、同様にしてR P Cを用いて、ベストフォーカス位置を求めてもよい。

【0 0 4 0】以上のように、各パターン2 1 a ~ 2 1 i 毎にベストフォーカス位置が求まるので、投影光学系の像面湾曲も計測、評価することが可能となる。また、レジスト像を計測するセンサは上述のアライメントセンサ1 1に限定されるものではなく、特開平2 - 5 4 1 0 3号公報に開示されているように、C C Dカメラ等の撮像素子を使ってウエハ上のパターンの像を検出するタイプのセンサ(F I A)やウエハ上のパターンに異なる2方向から周波数差の僅かに異なる2本のレーザビームを照射し、同じ方向に進む回折光同士の干渉光を受光し、干渉光による光電信号と基準信号との位相差に基づきパターンの位置を検出するタイプのセンサ(L I A)を用いてもよい。また、露光装置内に設けられたアライメントセンサ以外にも光学顕微鏡または電子顕微鏡を用いてレジスト像を検出するようにしてよい。

【0 0 4 1】また、図1の装置の光源は、水銀灯に限定されるものではなく、エキシマレーザ(K r F、A r F)や銅蒸気レーザ、固体レーザ等を用いる場合でも同様に、前述のオーバ露光法による露光条件測定を適用できる。また、エキシマレーザ(K r F、A r F)と化学増幅型のレジストを使った場合にもオーバ露光法による露光条件測定を適用できる。

【0 0 4 2】また、前述の実施例では露光量は露光時間により制御したが、これに限定されるものではなく、光源からの光の強度を可変としてもよく、例えば水銀灯やエキシマレーザに与える電圧を可変としてもよい。また、光源からの光を減光フィルタ等で光源から光の強度を調整するようにしてもよい。例えば、特開平2 - 1 3 5 7 2 3号公報等に開示されているように複数の減光フィルタを切り換えて光路に挿脱することで光源からの強度を調整するようにしてもよい。

【0 0 4 3】また、前述のオーバ露光法による露光条件測定はレチクルとウエハとを投影光学系に対して同期して移動させる、所謂スキャンタイプの露光装置にも同様

に適用可能である。また、投影光学系は屈折型、反射屈折型、反射型のいずれのタイプにも適用可能である。さらに、上述のオーバ露光法による露光条件測定はX線露光装置や電子線露光装置にも同様に適用できる。

【0 0 4 4】

【発明の効果】 以上のように本発明によれば、レジストに露光されたレジスト像形状の定量的評価が可能となり、ベストフォーカス計測の精度が向上する。また、ベストフォーカス位置の計測のみならず、焦点深度や各測定点でのコントラスト比較も可能となる。また、測定精度、再現性の向上、測定時間の短縮が達成される。加えて本発明は、どんな形状のレジストパターンにも適用可能である。

【0 0 4 5】また、レジストによるベストフォーカスの差を解消できるといった効果も得られる。さらに、露光装置内のアライメントセンサを用いることにより、ベストフォーカス計測の自動化が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例による合焦機能を有する露光装置の概略的な構成を示す図である。

【図2】 フォーカスと消失露光量との関係を示す図である。

【図3】 テストレチクル上に形成された計測用レチクルパターンの概略的な構成を示す図である。

【図4】 レジストが受けるL & Sパターンの露光強度分布を示す図である。(A) ベストフォーカス付近での露光強度分布を示す図であり、(B) はデフォーカス時での露光強度分布を示す図である。

【図5】 (A) 露光条件を逐次変えて露光したショットマトリクス群を示す図である。(B) 1つのショットマトリクス群の拡大図である。

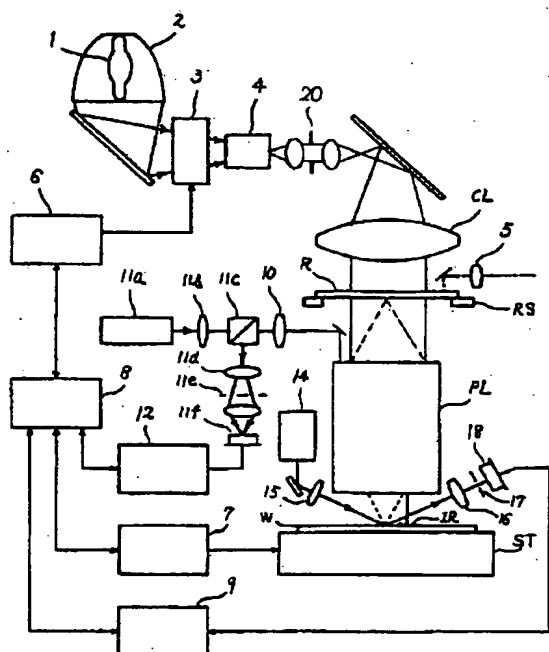
【図6】 図5 (B) のショットマトリクスにおいて、レジスト像消失ショット配置を示す図である。

【図7】 1つのショットマトリクスにおけるフォーカス位置とI E D (コントラストに対応する値) との関係を示す図である。

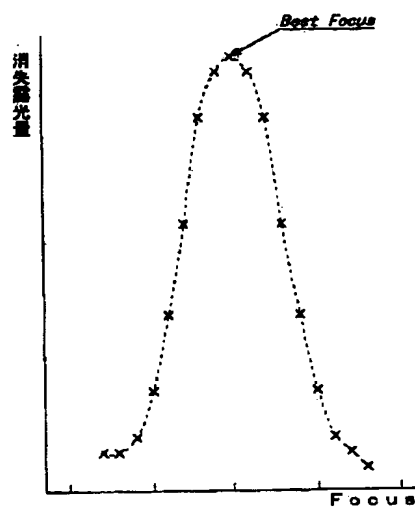
【主要部分の符号の説明】

1・・・光源、8・・・主制御系、1 1・・・アライメント系、1 4 ~ 1 8・・・焦点検出系、2 0・・・レチクルブラインド、2 1 a ~ 2 1 i R・・・レチクルパターン、S a ~ S i・・・ショットマトリクス、R・・・レチクル、W・・・ウエハ。

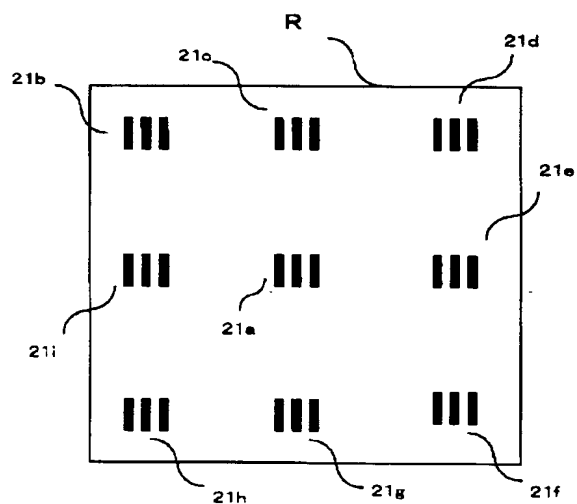
【図 1】



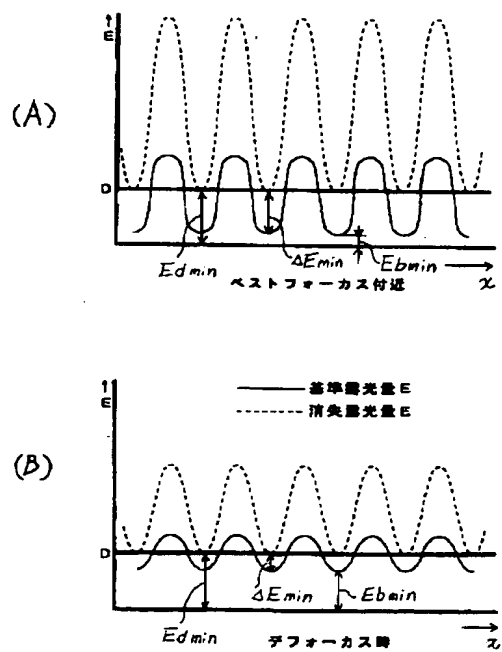
【図 2】



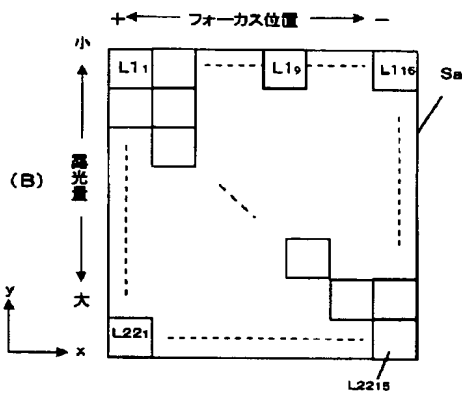
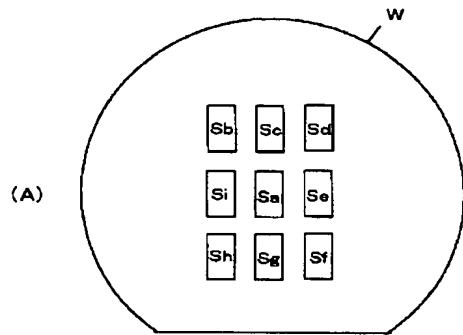
【図 3】



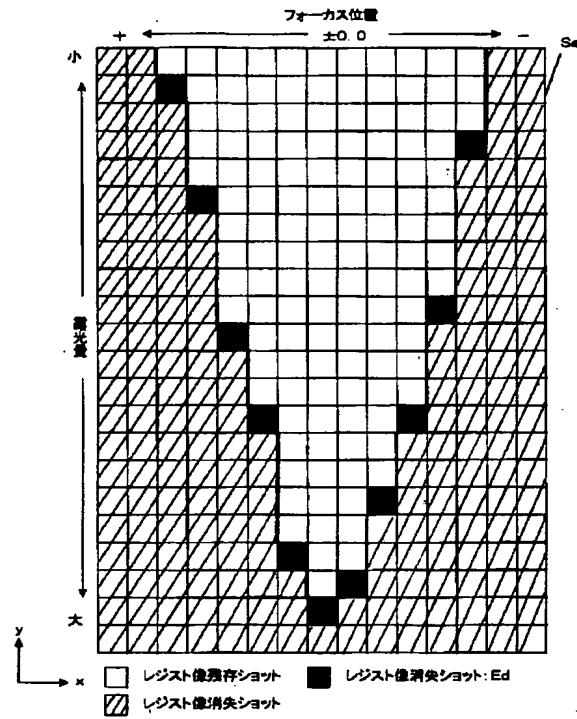
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

